



高等學校教材

大学化学教程

华南理工大学无机化学教研室编
古国榜 主编

化学工业出版社

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

大学化学教程/古国榜主编. — 北京: 化学工业出版社,
1999. 5

高等学校教材

ISBN 7-5025-2323-5

I. 大… II. 古… III. 化学-高等学校-教材 IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 06539 号

高等学校教材

大学化学教程

华南理工大学无机化学教研室编

古国榜 主编

责任编辑: 梁 虹

责任校对: 顾淑云

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9 彩色插页 1 字数 246 千字

1999 年 5 月第 1 版 1999 年 5 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-2323-5/G · 627

定 价: 12.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

本书是为高等工业学校非化工类各专业编写的大学化学教材。非化工类的工科专业有无必要开设化学课程，是几十年来工科教育界反复议论而未解决的问题。联合国教科文组织在 1988 年底提出的国际合作研究新项目中指出：数学、物理、化学、生物是一切学科的基础，也是进行科学、工程、医学、农业和科技专业教育的基础。因此，既然化学与数学、物理、生物一样，也是一切学科和专业教育的基础，那么开设化学课程就很有必要了。

工科非化工类开设大学化学（前称普通化学）课程的教学目的，旨在使学生掌握现代化学的基本知识和理论，了解化学在社会发展和科技进步中的作用，了解化学在其发展过程中与其他学科相互渗透的特色，培养学生用现代化学的观点去观察和分析工程技术上可能遇到的化学问题，并能和化学工作者一起解决之。为今后继续学习和工作打下必要的化学基础，也是培养跨世纪建设人才所必备的现代化学素养。1996 年，我们针对大学化学的教学目的和特点，结合我校教学学时少（理论课 32 学时，实验 16 学时）的情况，编写了《大学化学》讲义，供我校非化工类工科各专业试用了 3 年。本书就是在此讲义基础上，结合试用情况和各位教师提出的宝贵意见修改而成的。

本教程以现行高中化学和物理教学大纲为起点，以现代化学的基本知识和原理为基础，渗透与化学密切相关而又被社会特别关注的环境、能源、材料和生命等学科的交叉内容。

本书编写时特别注意以下几点：

- (1) 力图使本教程成为工程技术教育的基础；
- (2) 为便于教学和使用本教程，在编写格局上，以近代物质结构和化学原理为基础模块，作为必讲内容；以环境、能源、材料和生命为化学应用方面的模块，供各专业选讲或专题讲座时参考；

(3) 在介绍化学原理、环境、能源、材料和生命等内容时, 重视科技新内容、新发展、追踪学科前沿, 以开拓视野;

(4) 元素周期表中元素的分族, 本书采用了 1988 年 IUPAC 建议的 18 族分类, 另外, 把常见周期表中的镧系元素 (57 号镧→71 号镱) 中的镱、锕系元素 (89 号锕→103 号铹) 中的铹, 定位在第 3 族 (ⅢB), 不再属于镧系、锕系元素之内。

本书由古国榜担任主编。各章执笔人分别是李莹莹 (第 1、2 章), 魏小兰 (第 3、7 章), 于书平 (第 4 章的氧化还原部分和第 6 章), 谷云骊 (第 8、10 章), 刘雪英 (第 9 章), 古国榜 (绪论、第 4、5 章)。全书承蒙中国武警技术学院马泰儒教授详细审阅并提出许多宝贵的修改意见, 在编写过程中曾得到华南理工大学教务处的支持和林养素教授的关心和指点, 化工出版社为本书的编辑出版做了大量的工作, 在此谨向他们表示衷心的感谢。

此外, 本书编写时曾参考了兄弟院校的教材和公开出版的书刊中的有关内容, 在此也向有关的作者和出版社表示深切的谢意。

限于编者水平, 书中难免有错误和不妥之处, 敬请同行和读者批评指正。

编者于广州
华南理工大学
1998 年 8 月

内 容 提 要

本书是为高等工业学校非化工类各专业编写的大学化学教材。它以现行高中化学和物理教学大纲为起点，以现代化学的基本知识和原理为基础，渗透与化学密切相关而又被社会特别关注的环境污染与保护、能源、材料和生命等学科的交叉内容。内容取材新颖。通过本教程的学习，旨在使非化工类各工程技术专业学生具备高级工程技术人员所必需的现代化学素养，感受到化学对社会持续发展和科学技术进步的作用。

本书也可以供文、管类学生学习化学时参考。

目 录

绪论	1
1. 原子结构和元素周期系	4
1.1. 人类对原子结构的认识过程	4
1.1.1. 经典核原子模型	4
1.1.2. 氢原子结构的玻尔理论	4
1.2. 核外电子运动的波粒二象性	5
1.3. 核外电子运动状态的近代描述	6
1.3.1. 原子轨道	6
1.3.2. 电子云	9
1.3.3. 四个量子数	11
1.4. 各种元素的原子核外电子排布	12
1.4.1. 核外电子排布的原理	12
1.4.2. 周期系中各元素原子的电子层结构	14
1.4.3. 原子电子层结构与元素周期表的关系	19
1.5. 原子结构与元素性质的关系	22
1.5.1. 电离能	22
1.5.2. 电子亲和能	23
1.5.3. 电负性	24
1.5.4. 氧化值	25
复习题	27
2. 分子结构	29
2.1. 共价键的价键理论	29
2.1.1. 共价键的形成	29
2.1.2. 键参数	32
2.1.3. 键的极性	34
2.2. 杂化轨道和分子的几何构型	35
2.2.1. $s-p$ 杂化的类型	36

2.2.2.	等性杂化与不等性杂化	38
2.3.	配位键和配位化合物	41
2.3.1.	配位键	41
2.3.2.	配位化合物	41
2.4.	分子间的作用力	46
2.4.1.	分子的极性和偶极矩	46
2.4.2.	范德华力	47
2.5.	氢键	49
	复习题	51
3.	晶体结构	53
3.1.	晶体的宏观特征	53
3.2.	晶体的微观结构	54
3.3.	晶体的基本类型	57
3.3.1.	金属晶体	57
3.3.2.	离子晶体	58
3.3.3.	分子晶体	59
3.3.4.	共价晶体	59
3.3.5.	混合型晶体（层状和链状晶体）	60
3.4.	晶体材料	61
3.4.1.	石英晶体与压电材料	61
3.4.2.	钛酸钡晶体与非线性光学材料	62
3.4.3.	红宝石晶体和激光材料	62
3.4.4.	BGO 晶体材料	63
3.5.	晶体的缺陷和对材料的性质影响	63
3.6.	非晶体和液晶	65
	复习题	66
4.	化学反应的基本原理	67
4.1.	化学反应进度	67
4.2.	化学反应能量守恒定律	68
4.2.1.	系统、环境和相的概念	69
4.2.2.	状态函数和热力学能	69
4.2.3.	化学反应中能量守恒定律的表达式	69
4.3.	焓与反应焓变	70

4.3.1.	焓的定义	70
4.3.2.	标准摩尔反应焓变	71
4.3.3.	标准摩尔生成焓	72
4.3.4.	利用标准摩尔生成焓计算标准摩尔反应焓变	72
4.4.	化学反应速率	73
4.4.1.	化学反应速率的概念	73
4.4.2.	反应速率方程	74
4.4.3.	温度对反应速率的影响	76
4.4.4.	活化能	77
4.4.5.	催化剂对化学反应速率的影响	78
4.4.6.	影响多相反应速率的因素	79
4.5.	化学平衡与反应的耦合	80
4.5.1.	化学平衡常数	80
4.5.2.	多重平衡规则——平衡常数组合	83
4.5.3.	化学平衡的移动	84
4.5.4.	反应的耦合	85
4.6.	水溶液中的几种平衡	87
4.6.1.	水的离解平衡和溶液的酸碱性	87
4.6.2.	弱酸、弱碱的离解平衡	88
4.6.3.	缓冲溶液	90
4.6.4.	难溶电解质的溶解平衡	91
4.6.5.	配位平衡	93
4.6.6.	氧化还原反应	97
复习题		106
5.	化学与环境保护	111
5.1.	人类生存的环境与生态系统	111
5.1.1.	人类生存的环境	111
5.1.2.	生态系统与生态平衡	112
5.2.	全球关注的四大环境问题	115
5.2.1.	光化学烟雾	116
5.2.2.	臭氧层的空洞	117
5.2.3.	全球气候变暖（温室效应）	119
5.2.4.	酸雨	120

5.2.5.	大气污染及其防治	121
5.3.	水的污染及其防治	123
5.3.1.	水的污染物	124
5.3.2.	水质监控标准	126
5.3.3.	水体污染的防治	127
5.4.	土壤污染及其防治	131
5.4.1.	土壤的成分	131
5.4.2.	土壤的污染	132
5.4.3.	土壤污染的防治	134
5.5.	环境质量的评价及监测	135
5.5.1.	环境质量的评价	135
5.5.2.	环境监测	137
	复习题	138
6.	化学与能源	139
6.1.	能源的分类	139
6.2.	化石燃料	141
6.2.1.	石油和天然气	141
6.2.2.	煤	145
6.3.	化学电源	149
6.3.1.	干电池	149
6.3.2.	蓄电池	150
6.3.3.	燃料电池	153
6.4.	氢能源	156
6.4.1.	氢气的制备	156
6.4.2.	氢的贮存与输送	159
6.4.3.	氢能的用途	160
6.5.	核能源	161
6.5.1.	核裂变反应堆	161
6.5.2.	核聚变反应堆	163
6.6.	太阳能	164
6.6.1.	利用太阳能致冷、空调	165
6.6.2.	太阳光电转换	166
	复习题	167

7. 无机材料	168
7.1. 材料科学的发展概况	168
7.1.1. 历史和现状	168
7.1.2. 化学与材料	169
7.1.3. 材料的分类	170
7.2. 金属材料	171
7.2.1. 钢铁	171
7.2.2. 钢铁的腐蚀和防腐	173
7.2.3. 特种合金	177
7.3. 无机非金属材料	181
7.3.1. 传统陶瓷	181
7.3.2. 精密陶瓷	184
7.3.3. 超细纳米材料	187
7.4. 几种无机功能材料	188
7.4.1. 形状记忆合金	188
7.4.2. 超导材料	189
7.4.3. 光导纤维	191
7.4.4. 磁存储材料	192
7.4.5. 吸声材料	192
7.4.6. 光色材料	193
7.5. 粉末冶金——新材料的制备方法	193
复习题	194
8. 合成高分子材料	196
8.1. 高分子化合物合成的典型方法	196
8.1.1. 加聚反应	197
8.1.2. 缩聚反应	198
8.2. 高分子化合物的结构与特性	199
8.2.1. 结构特点	199
8.2.2. 柔顺性	200
8.2.3. 力学状态	201
8.2.4. 弹性和塑性	203
8.2.5. 机械性能	204
8.2.6. 绝缘性	204

8.2.7.	化学稳定性	204
8.3.	合成高分子材料——塑料、纤维、橡胶	205
8.3.1.	塑料	206
8.3.2.	合成纤维	207
8.3.3.	合成橡胶	209
8.4.	特殊功能高分子材料	210
8.4.1.	光敏性高分子	210
8.4.2.	离子交换树脂	211
8.4.3.	氧化还原高分子	212
8.4.4.	导电高分子	212
8.5.	复合材料	213
8.5.1.	复合材料的分类	214
8.5.2.	塑料基复合材料	215
	复习题	216
9.	化学与生命	218
9.1.	生物体中重要的有机化合物	218
9.1.1.	糖类	218
9.1.2.	蛋白质和氨基酸	221
9.1.3.	酶	227
9.1.4.	核酸	228
9.2.	基因和遗传信息	230
9.3.	细胞膜	233
9.4.	化学元素与健康	235
9.4.1.	生物体内化学元素的分类	236
9.4.2.	几种必需元素的主要功能	237
9.4.3.	化学元素与健康	242
9.5.	营养和健康	244
9.5.1.	营养素	244
9.5.2.	食物与营养	246
9.6.	绿色食品	248
	复习题	249
10.	未来 21 世纪化学展望	251
10.1.	分子结构将不再是谜	252

10.2.	清洁工艺的设计	253
10.3.	核能可以用多久	254
10.4.	化学法利用太阳能	254
10.5.	合成材料正在征服世界	255
10.6.	农牧业增产的关键——空气氮的化合	256
10.7.	控制生命活动过程	257
附录		259
附录 I	有关计量单位	259
附录 II	某些物质的标准生成焓 (25℃)	262
附录 III	一些弱电解质的解离常数 (25℃)	264
附录 IV	溶度积常数 (25℃)	265
附录 V	一些配离子的不稳定常数 (25℃)	266
附录 VI	标准电极电势 (25℃)	267
主要参考文献		272
元素周期表		

绪 论

世界是物质的，物质是运动的。时间和空间是物质存在的形式，哪里有时间、空间，哪里便有物质。从以光年为计算单位的庞大星系到地球上的宏观物体，再到肉眼看不到的分子、原子、电子等等，都以其各自不同的运动形式存在着，人类本身也是物质运动、演化的产物。在生存与发展的过程中，人类不断地认识自然界，建立和发展了自然科学。各门科学在不同的物质层次、不同的范围内研究物质和物质的运动。化学科学是在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、制备、性能及其变化规律的科学。随着科学技术和生产的日益发展，化学的作用越来越重要。联合国教科文组织在 1988 年提出的国际合作研究新项目中指出：数学、物理、化学、生物是一切学科的基础，也是进行科学、工程、医学、农业、工业和科技专业教育的基础。

本世纪 70 年代以来，在人类面临的能源、粮食、环境、人口与资源的五大问题中，诸如天然能源的有效利用、新能源的开发、环境保护、肥料、农药、人口的控制、资源的合理开采与利用、人们的衣食住行都离不开化学学科。由于各学科之间的相互渗透日益增强，化学已经渗透到每个工程技术领域。材料、能源、信息是现代文明社会的三大支柱，而材料又是能源和信息工业技术的物质基础。例如，信息工程中信息采集、处理和执行都需要各种各样的功能材料，而功能材料又需依靠化学提供原材料。可以肯定，现代工程技术上所面临的课题，需要的化学知识会越来越多。

化学作为一种生产力，积极推动着 20 世纪工农业的迅速发展。例如，1910 年合成的 InP，开辟了 13 (Ⅲ A) ~ 15 (V A) 族化合物半导体的应用领域，推动着半导体工业的发展，并一直延续到现代信息的产生、传递和显示各方面上的应用；30 年代末， ZrO_2 (YSZ) 以及 $\text{Na-}\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的合成成功，兴起了固态电解质的研究以及燃料电池等新

化学能源的开发和应用；60年代末，红色荧光粉 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ 的发现和应用，推动了彩色电视的发展，极大地丰富了人们的现代文化生活。目前正在研究的对红外光透明度比硅玻璃大数百倍的多金属氟化物纤维，将可能把光纤通讯的距离扩展到 50000km 以上，其传递信息的效果可以和空间卫星通讯相媲美。1984 年 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 合金的合成成功，开发出新一代永磁材料。1986 年， $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 的合成开创了高温超导的技术。这些材料的获得都离不开化学工作者的参与。

化学对满足人民生活需要，促进社会文明功不可灭。可是许许多多化学工厂的建立却导致了环境污染问题。正是人类自己一手创造物质文明，另一手又把废物抛向大自然，破坏了生态环境，给人类的生存带来了威胁。为消除环境污染，除了提高全民的保护环境意识外，主要还是要改变产品结构和改革工艺流程。例如，研究无污染的高能燃料以取代汽油、煤，便可以从根本上摆脱日益严重的矿物燃料燃烧时产生的污染。为消除农药和杀虫剂的负面作用，化学家正在研制无公害的农药和杀虫剂。人们还在努力探索把植物独具的光合作用变成实验室及工厂中的反应，这样就可彻底改变粮食生产方式，从根本上免除农药和杀虫剂对环境的污染。因此，绿色化学在 20 世纪末便开始提到议事日程。

绿色化学与传统化学不同。它是从源头消除污染，发展不产生污染的新化学反应和化学产品。可以说，绿色化学是促进人类与环境协调发展的更高层次的进入成熟期的化学。最近几年，绿色化学在国际上获得迅速发展。其研究的内容，主要包括如下几个方面：①设计对环境无害的新材料和新化学产品；②研究如何在无毒无害条件下制造新材料和新化学产品；③研究化学反应如何减少废物，直接实现“零排放”（即无污染物排放）；④研究用绿色植物代替石油作有机化工原料和能源。我国绿色化学的研究正处在起步阶段。可以预言，21 世纪绿色化学将会得到蓬勃发展，从促进人类的环境协调发展的角度来看，21 世纪的化学将是传统化学进入绿色化学的全盛时期。

大学化学概括而简要地介绍化学的基本理论、基本知识及其应用。本教程的教学目的是使大学非化工类学生，在中学化学基础上进一步

掌握必需的化学基本理论、基本知识和基本技能，并了解这些理论和知识在环境、能源、材料和生命学科及工程上的应用；培养学生用化学观点观察、分析工程上的化学问题，为今后学习和工作打下一定的化学基础，并能和化学工作者一起解决工程上的化学问题，使其具有跨世纪建设人才必备的现代化学素质。

现代科学技术发展迅速，科学知识在短时间内迅猛增长。就化学而言，美国化学文摘服务部(CAS)给各个新化合物编的“注册号”，有人曾统计在1950年初大约是200万种，而到1990年已突破1000万种，其中约有400万种是在1985~1990年的5年间发现的。1991年已达1260万种，平均每天约7000种。面对这巨大浩瀚的信息量，任何人即使日夜攻读，也难读完和记住现有的知识。将来从事工作所必须的很多知识，在学校学习期间，肯定是不能满足的，因此，通过学习除掌握知识外，更重要的是提高自学能力。掌握知识是提高自学能力的基础，而提高自学能力又是掌握知识的主要条件，两者是相互促进的。

1. 原子结构和元素周期系

在化学变化中，原子核不发生变化，只是核外电子数目和运动状态发生变化，从而使原子结合方式也发生变化。因此，要了解物质的性质及其变化规律，首先必须了解原子的结构，特别是核外电子的运动状态。

1.1. 人类对原子结构的认识过程

1.1.1. 经典核原子模型

19 世纪末，物理学家在气体低压放电（阴极射线）的现象中发现了电子。1897 年汤姆逊（Thomson）最早测定了电子的荷质比（ e/m ），并发现电子普遍存在于原子中。1911 年卢瑟福（Rutherford）在 α 粒子散射实验中证实原子中存在质量较大、带正电荷的原子核。于是卢瑟福提出带核原子模型：原子中心存在一个原子核，它集中了原子全部的正电荷和几乎全部的质量，带负电荷的电子在核外空间绕核高速运动。按经典的电磁理论，带负电荷的电子在旋转时，必然会发射电磁波，也就是说要不断释放出能量，以致电子绕核旋转的轨道半径越来越小，最后电子会掉到原子核上而湮灭。这显然不符合事实。

1.1.2. 氢原子结构的玻尔理论

在研究原子结构时，首先从研究最简单的氢原子结构入手。自氢原子光谱发现后，1913 年丹麦物理学家玻尔（N. Bohr）为了解释这一事实，对原子结构作了设想，他假设原子中的电子只能以一规定半径 r 绕原子核作圆周运动，此时不辐射能量，只有当电子在不同轨道上发生跃迁时才放出或吸收能量。从而引入了量子概念，并运用牛顿力学定律，推算了氢原子的轨道半径 r 和能量 E ，以及电子从高能态跃迁至低能态时辐射光的频率 ν 。它们都与正整数 n 有关，可以分别表示如下：

$$r = a_0 n^2 \quad (1-1)$$

$$E = -B \frac{1}{n^2} \quad (1-2)$$

$$\nu = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1-3)$$

式中, $a_0 = 0.053 \text{ nm}$, 通常称为玻尔半径; $n = 1, 2, 3, 4, \dots$, $n_1 < n_2$; $B = 13.60 \text{ eV}$ 或 $2.179 \times 10^{-18} \text{ J}$; $R_H = 109677 \text{ cm}^{-1}$ 。

玻尔理论成功地解释了氢原子光谱, 并提出了原子能级和主量子数 n 等重要概念, 对光谱学的研究以及近代原子结构的发展作出了一定的贡献。但玻尔理论不能说明多电子原子的光谱, 也不能解释原子如何形成分子的化学键本质(例如, 氢原子形成氢分子的化学键)。这主要是由于玻尔理论仍建立在经典物理基础上, 认为电子在核外轨道上作圆周运动。实际上, 从宏观到微观, 随着物体空间尺寸变小, 质量变小, 物质的运动方式和规律发生了质的变化。因此微观粒子不再象宏观物体那样, 可以“静止”在空间某个位置或运动在有一个可以预计的轨道上。对于微观粒子的描述方法应有根本的不同。

1.2. 核外电子运动的波粒二象性

本世纪初, 明确了光既具有波动性, 又具有微粒性。1924年, 德布罗意(de Broglie)在这一事实的启发下, 提出了具有静止质量的微观粒子(如电子)也具有波粒二象性的特征。他认为质量为 m , 以速率 v 运动着的微粒子, 不仅具有动量 $p = mv$ (粒子的特征), 而且具有相应的波长 λ (波动性特征), 二者之间可通过普朗克常数 h ($6.625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) 相互联系起来:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

关于电子的波动性, 1927年被戴维森(Davisson)等的电子衍射实验所证实。如图 1-1 所示。当电子射线从 A 处射出, 穿过镍晶体粉末 B, 射到屏

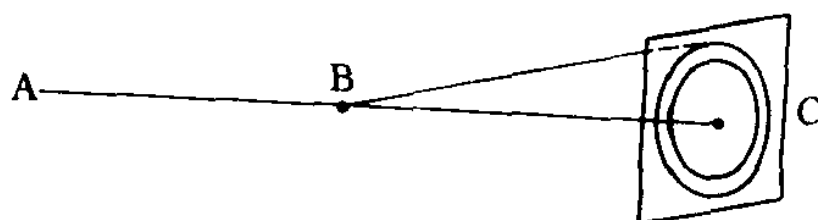


图 1-1 电子的衍射